外科口罩和 N95 口罩对慢性阻塞性肺疾病患者的心肺生理影响：一项随机交叉对照试验

刘健，张天一，艾力扎提 • 艾则孜，等. 外科口罩和 N95 口罩对慢性阻塞性肺疾病患者的心肺生理影响：一项随机交叉对照试验［J］. 中国全科医学，2022. ［Epub ahead of print］. DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2022.0768.

刘健[1,2]，张天一[1]，艾力扎提 • 艾则孜[2]，常蕊静[2]，张建立[2]，王婉[2]，姜鹏[2*]

1.832000 石河子，新疆石河子大学医学院
2.830000 乌鲁木齐，新疆军区总医院呼吸与危重症医学科
*通信作者：姜鹏，主任医师；Email：jipzym@126.com
临床试验注册号：ChiCTR2200062205

【摘要】　背景　在 COVID-19 全球流行期间，佩戴口罩和保持社交距离已成为人们常见的防护措施。但慢性阻塞性肺病（简称慢阻肺）患者佩戴口罩后产生的生理变化未有全面认识。**目的**　探索比较配戴外科口罩和 N95 口罩对慢阻肺患者的生理影响。**方法**　研究招募 30 例确诊为慢阻肺患者。通过随机对照、两期交叉研究，监测血气分析和主观感受的变化，评价佩戴外科口罩和 N95 口罩后的生理改变。**结果**　30 例受试者均完成了试验。与外科口罩组相比，N95 口罩组受试后与受试前酸碱度（pH）变化幅度[（-0.012±0.015） vs （-0.004±0.010）]、动脉血二氧化碳分压（$PaCO_2$）变化幅度[（1.337±1.306）mmHg　vs　（0.250±1.251）mmHg)]和动脉血氧分压（PaO_2）变化幅度[（10.433±10.546）mmHg　vs　（4.000±9.516）mmHg]有显著增加（*P*=0.001、*P*=0.001 和 *P*=0.002）。慢阻肺受试者佩戴 N95 口罩出现呼吸困难的比例（83.3%）高于佩戴外科口罩（53.3%）；与佩戴外科口罩相比，慢阻肺受试者佩戴 N95 口罩出现呼吸困难的相对危险度（*RR*）为 1.563 [95%*CI*（1.078~2.264）]，有统计学意义（*P*=0.012）。**结论**　与佩戴外科口罩相比，慢阻肺患者佩戴 N95 口罩更易影响气体交换、发生呼吸困难。
【关键词】　外科口罩；N95 口罩；慢性阻塞性肺病；气体交换；呼吸困难

Cardiopulmonary physiology effects of surgical mask and N95 mask in patients with COPD: a randomized crossover controlled trial

LIU Jian[1,2]，ZHANG Tianyi[1]，AILIZHATI • Aizezi[2]，CHANG Ruijing[2]，ZHANG Jianli[2]，WANG Wan[2]，JIANG Peng[2*]
1.Shihezi University School of Medicine，Shihezi 832008，China
2.Department of Respiratory and Critical Care Medicine，General Hospital of Xinjiang Military Region，Urumqi 830000, China
**Corresponding author：JIANG Peng，Chief physician；Email: jipzym@126.com*
Clinical trial registration number：ChiCTR2200062205

【Abstract】　Background　During the global COVID-19 pandemic, wearing masks and maintaining social distancing have become common protective measures. However, there is no comprehensive understanding of the physiological changes caused by patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) wearing masks. **Objective**　To explore and compare the physiological effects of wearing surgical mask and N95 mask on patients with COPD. **Methods**　Thirty patients with COPD were recruited. The changes of blood gas analysis and subjective perception were monitored through randomized controlled and two-phase crossover studies, and the physiological changes after wearing surgical masks and N95 masks were evaluated. **Results**　All 30 subjects completed the trial. Compared with the surgical mask group, the changes in potential of hydrogen (pH)[(-0.012±0.015) vs (-0.004±0.010)] in the N95 mask group and the arterial partial pressure of carbon dioxide (PaCO2) [(1.337±1.306) mmHg vs (0.250±1.251) mmHg)] and arterial partial pressure of oxygen (PaO2) [(10.433±10.546) mmHg vs (4.000±9.516) mmHg] were significantly increased (*P*=0.001, *P*=0.001 and *P*=0.002). Compared with wearing surgical masks, the relative risk (*RR*) of COPD subjects wearing N95 masks for dyspnea was 1.563 [95%*CI* (1.078-2.264)], which was statistically significant (*P*=0.012). **Conclusion**　Compared with wearing surgical masks, COPD patients wearing N95 masks will affect gas exchange and cause dyspnea.
【Key words】　Surgical mask；N95 mask；COPD；Gas exchange；Dyspnea

COVID-19 全球流行期间，许多国家及机构推荐佩戴口罩作为基本的防护措施[1-4]。美国疾病控制与预防中心多

推荐日常生活中使用外科口罩和 N95 口罩进行防护[5]。N95 口罩与外科口罩相比具佩戴紧密、呼吸阻力大的特点[6]。慢性阻塞性肺疾病（简称慢阻肺）是最常见的慢性呼吸系统疾病，截止至 2019 年慢阻肺高居全球死亡原因第三位[7]。近期研究发现新型冠状病毒可导致慢阻肺病情加重[8, 9]。另有报道，在疫情期间佩戴口罩可大幅减少慢阻肺患者因病情恶化而住院的人数[10, 11]。除新冠病毒以外，佩戴口罩对流感病毒和结核杆菌有一定防护作用[12, 13]。因此，慢阻肺患者佩戴口罩是有效且必要的。

慢阻肺的特征之一是持续存在的气流受限。早期慢阻肺便会导致劳力性呼吸困难[14]，病情加重时甚至还会影响气体交换[15, 16]。慢阻肺患者还常常存在肺气肿，会进一步加重肺通气的异常[17]。另外有研究发现慢阻肺患者增加额外的呼吸道死腔后会加重二氧化碳潴留并导致更多的呼吸困难[18]。而口罩和面部皮肤之间会形成一定量的死腔面积[19]，并且有研究提示口罩内的二氧化碳浓度可能高于周围环境[20]。还有研究证实佩戴口罩还会带来额外的呼吸阻力[21, 22]，甚至会影响慢阻肺患者的主观感受[23-25]。因此我们认为慢阻肺患者在佩戴外科口罩和 N95 口罩的安全性上需要更多的研究。不管为了应对当下疫情还是未来可能出现的呼吸道传染病全球大流行，全面认识佩戴口罩带来的生理改变是必要的。目前关于外科口罩和 N95 口罩对慢阻肺患者的生理影响尚不清楚，本文通过对募集的 30 名慢阻肺患者佩戴外科口罩和 N95 口罩后的生理改变进行了分析。

1　对象与方法

1.1　研究对象

根据 2021 年慢性阻塞性肺疾病诊治指南中慢阻肺诊断标准[26]，本实验招募 2022 年 6 月 30 至 2022 年 8 月 10 日经新疆军区总医院确诊的 30 例慢阻肺患者，其中男 19 例，女 11 例。受试者中 10%（3/30）患者为《慢性阻塞性肺疾病全球倡议分级》（GOLD）1 级，56.7%（17/30）为 GOLD 2 级，26.7%（8/30）为 GOLD 3 级，6.7%（2/30）为 GOLD 4 级。所有患者均签署知情同意书，本研究通过新疆军区总医院医学伦理委员会批准（2022RR0604）。

1.1.1　纳入标准：1.年龄 18-80 岁；2. 行肺功能检查被诊断患有慢阻肺；3. 受试者体力可耐受无人帮助的步行实验。

1.1.2　排除标准：1.慢性阻塞性肺疾病急性加重期；2.严重呼吸衰竭伴长期氧疗需创机械通气；3.严重肝、肾器官衰竭；4.2 个月内有急性心脑血管事件史；5.合并恶性肿瘤及免疫系统疾病；6.精神障碍患者；7.双下肢运动障碍患者；8.孕妇。

1.2　研究方法

1.2.1　随机化分组及其隐匿

按入组顺序拟定 30 个研究对象的序号。为保证两组例数相等，使用随机数分组法将研究对象随机分配至 N95 口罩组（n= 15 例）和外科口罩组（n=15 例）。N95 口罩组和外科口罩组分前后两个阶段相互交叉进行，当首轮试验结束并经过 24 小时洗脱期后，将外科口罩组与 N95 口罩组受试者对调后进行次轮试验，步骤与方法同第一阶段。在受试者分组之前进行分组隐匿，通过使用遮光信封保存随机分组方案。按患者入组顺依次拆开信封，根据信封内的分配方案确定慢阻肺患者的分组情况。

1.2.2　步行实验与临床资料收集

受试者通过肺功能等初步检查以筛选资格。符合条件并同意参加试验的受试者根据分组结果依次参与以下试验。首轮试验：受试者在受试前静息 2 小时，并在试验开始 15 分钟前完成动脉血气分析，并记录心率（heart rate，HR）、收缩压（systolic blood pressure，SBP）、舒张压（diastolic blood pressure，DBP）、呼吸频率（respiratory rate，RR）等基线数据。采集数据后 N95 口罩组受试者在正确规范佩戴 N95 口罩后在跑步机上以 4km/h 的步行速度行走 20 分钟。外科口罩组在正确规范佩戴外科口罩后在跑步机上以 4km/h 的步行速度行走 20 分钟。所有受试者在定速行走全程连续监测最快 HR 和最低经皮动脉血氧饱和度（percutaneous arterial oxygen saturation，SpO_2）。受试结束时所有受试者立即完成动脉血气分析并记录 HR、SBP、DBP、RR，最后填写主观感觉采集表。如果受试者自觉运动过程中无法坚持，可立即摘下面罩放弃试验；研究人员对这些受试者进行监护，直到症状改善。次轮试验：首轮试验结束后，经 24 小时的洗脱期后进行次轮试验。次轮试验将首轮试验中 N95 口罩组和外科口罩组的受试者进行对调，并按照首轮试验的步骤和数据采集方法进行试验。

1.3　试验设备与仪器

本实验采用 Minnesota Mining and Manufacturing Corporation 公司 8210 型号 N95 口罩（生产批号：10600007716；生产日期：2019 年 11 月 25 日；有效日期：2024 年 12 月）。外科口罩是采用江苏康诺医疗器械股份有限公司的平面耳挂型号医用外科口罩（生产批号：20211125；生产日期：2021 年 11 月 25 日；有效日期：2024 年 11 月 24 日）。

1.4　观察指标

生理学指标：受试前、后分别记录受试者 HR、SBP、DBP、RR，计算受试后与受试前 HR 变化幅度（△RH）、SBP 变化幅度（ΔSBP）、DBP 变化幅度（ΔSDP）、RR 变化幅度（△RR）。监测试验过程中受试者的最低 SpO_2

和最快 HR。

血清学指标：分别在每次受试前、后记录动脉血气分析中酸碱度（potential of hydrogen，pH）、动脉血二氧化碳分压（arterial partial pressure of carbon dioxide，$PaCO_2$）、动脉血氧分压（arterial partial pressure of oxygen，PaO_2）、动脉血氧饱和度（arterial oxygen saturation，SaO_2）。根据动脉血氧分压及动脉血二氧化碳分压诊断低氧血症[PaO2<60mmHg（1mmHg=0.133kPa）]和高碳酸血症（$PaCO_2$>45mmHg），并计算受试后与受试前 pH 变化幅度（ΔpH）、$PaCO_2$ 变化幅度（Δ$PaCO_2$）、PaO_2 变化幅度（ΔPaO_2）及 SaO_2 变化幅度（ΔSaO_2）。

主观不适：主观不适包涵头晕、头痛、呼吸困难、劳累、鼻面部不适，共 5 种主观不适。博格评分（Borg scale）：一点也不觉得呼吸困难，评分 0 分；非常非常轻微的呼吸困难，几乎难以察觉，评分 0.5 分；非常轻微的呼吸困难，评分 1 分；轻度的呼吸困难，评分 2 分；中度的呼吸困难，评分 3 分；略严重的呼吸困难，评分 4 分；严重的呼吸困难，评分 5 分；非常严重的呼吸困难，评分 6-8 分；非常非常严重的呼吸困难，评分 9 分；极度的呼吸困难，达到极限，评分 10 分。计算受试后与受试前 Borg scale 变化幅度（△Borg scale）。

1.5　统计学分析

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析，计量资料采以（$\bar{x}\pm s$），计数资料以相对数表示。在比较两个相关组内差异时，当两组均满足正态性时则进行配对样本 t 检验，不满足的进行两相关样本非参数检验。在比较具有独立性的组间差异时，当两组均满足正态性则进行独立样本 t 检验，不满足的进行非参数秩和检验。计算相对危险度（*RR*），当 *RR*>1 且 95%可信区间（*CI*）不包括 1，为结局的危险因素；当 *RR* ≤ 1 且 95%*CI* 不包括 1，为结局的保护因素。以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　受试者一般资料

30 名受试者全部完成了试验，其中男性 19 名，女性 11 名；受试者年龄为（60.4±12.4）岁；身高为（167.300±8.466）cm，体重为（67.333±9.208）cm，第一秒用力呼气容积（forced expiratory volume in one second，FEV_1）为（1.603±0.713）L/s，一秒率（forced expiratory volume in one second/ forced vital capacity，FEV_1/FVC）为（54.298±11.013）%。第一秒用力呼气容积占预计值的百分比（FEV_1%预计值）为（58.412±19.233）%。

2.2　N95 口罩组与外科口罩组的生理变化组间比较

与外科口罩组中慢阻肺受试者的ΔPH（-0.004±0.010）相比，N95 口罩组的ΔPH（-0.012±0.015）有显著差异（*P*=0.001）。另外与佩戴外科口罩相比，佩戴 N95 口罩后慢阻肺受试者的Δ$PaCO_2$[（1.337±1.306）mmHg vs （0.250±1.251）mmHg，*P*=0.001]、ΔPaO_2[（10.433±10.546）mmHg vs （4.000±9.516）mmHg，*P*=0.002]均明显增加。但两组受试过程中的最低 SpO_2（89.600±3.500 vs 90.800±3.500，*P*=0.362）和最快 HR（130.300±16.400 vs 121.600±11.400，*P*=0.745）无显著差异。见表 1。

2.3　N95 口罩组与外科口罩组的不良事件发生风险

结果显示，N95 口罩组中有 18 人（60.0%）出现头晕，另外有 6 人（20.0%）出现头痛。外科口罩组中有 11 人（36.7%）出现头晕，5 人（16.7%）出现头痛。与外科口罩组相比，N95 口罩组的受试者出现头晕的相对危险度为 1.636（95%*CI* 为 0.941~2.847），出现头痛的相对危险度为 1.200（95%*CI* 为 0.410~3.511），均无统计学意义。N95 口罩组中出现呼吸困难的比例（83.3%）高于外科口罩组（53.3%）。与佩戴外科口罩相比，佩戴 N95 口罩的受试者出现呼吸困难的相对危险度为 1.563（95%*CI* 为 1.078~2.264），有统计学意义（*P*=0.012）。另外，两组受试者中均有 3 人（10.0%）出现高碳酸血症，与佩戴外科口罩相比，佩戴 N95 口罩出现高碳酸血症的相对危险度为 1.000（95%*CI* 为 0.219~4.564），出现低氧血症的相对危险度为 0.769（95%*CI* 为 0.401~1.475），均无统计学意义。见表 2。

表 1　N95 口罩组与外科口罩组的生理变化组间比较

Table 1　Physiological changes between N95 mask group and surgical mask group

	N95 口罩组	外科口罩组	*P*
最低 SpO_2（%）	89.600±3.500	90.800±3.500	0.362
最快 HR（次/分）	130.300±16.400	121.600±11.400	0.745
ΔSBP（mmHg）	17.533±9.104	18.333±7.640	0.714
ΔDBP（mmHg）	12.000±9.040	15.200±8.352	0.160
ΔHR（次/分）	37.667±15.606	38.333±13.924	0.862
ΔRR（次/分）	7.700±2.452	8.067±2.303	0.553
ΔBorg scale	4.600±1.534	4.200±1.506	0.312
ΔpH	-0.012±0.015	-0.004±0.010	0.001

Δ $PaCO_2$（mmHg）	1.337±1.306	0.250±1.251	0.001
Δ PaO_2（mmHg）	10.433±10.546	4.000±9.516	0.002
Δ SaO_2（%）	-0.167±2.718	-0.767±2.285	0.202

注：SpO_2：经皮血氧饱和度；HR：心率；Δ SBP：受试后与受试前收缩压变化幅度；Δ DBP：受试后与受试前舒张压变化幅度；Δ HR：受试后与受试前心率变化幅度；Δ RR：受试后与受试前呼吸频率变化幅度；Δ Borg：受试后与受试前博格评分变化幅度；Δ pH：受试后与受试前酸碱度变化幅度；Δ $PaCO_2$：受试后与受试前动脉血二氧化碳分压变化幅度；Δ PaO_2：受试后与受试前动脉血氧分压变化幅度；Δ SaO_2：受试后与受试前动脉血氧饱和度变化幅度。

表 2 N95 口罩组与外科口罩组的不良事件发生风险

Table 2 Risk of adverse events between N95 mask group and surgical mask group

	N95 口罩组（n=30）	外科口罩组（n=30）	*RR* （95%*CI*）	*p*
头晕[n（%）]	18（60.0）	11（36.7）	1.636（0.941~2.847）	0.071
头痛[n（%）]	6（20.0）	5（16.7）	1.200（0.410~3.511）	0.739
呼吸困难[n（%）]	25（83.3）	16（53.3）	1.563（1.078~2.264）	0.012
劳累[n（%）]	22（73.3）	16（53.3）	1.375（0.923~2.408）	0.108
鼻面不适[n（%）]	9（30.0）	6（20.0）	1.500（0.610~3.691）	0.371
低氧血症[n（%）]	10（33.3）	13（43.3）	0.769（0.401~1.475）	0.426
高碳酸血症[n（%）]	3（10.0）	3（10.0）	1.000（0.219~4.564）	1.000

3 讨论

Covid-19 全球流行期间，部分疫情高危地区要求人们在公众场所佩戴防护效果更好的 N95 口罩。慢阻肺患者往往存在病情确诊的滞后性，在其不知情的前提下佩戴 N95 口罩是极具危险的。目前，外科口罩及 N95 口罩对慢阻肺患者的生理影响的相关研究相对较少，故本试验旨在探究慢阻肺患者在佩戴外科口罩和 N95 口罩后产生的生理变化。本研究发现，与外科口罩相比，慢阻肺患者佩戴 N95 口罩更易影响气体交换、发生呼吸困难；慢阻肺患者需谨慎佩戴 N95 口罩。

本研究显示，与佩戴外科口罩相比，慢阻肺患者佩戴 N95 口罩后动脉血气中的 PCO_2 有显著增加。既往研究报道，与不佩戴口罩相比，健康人及慢阻肺患者佩戴 N95 口罩均可引起 PCO_2 增高[27-29]。另有研究发现在慢阻肺患者佩戴外科口罩行 6 分钟步行试验期间，PCO_2 未有显著变化[30]。两种口罩对佩戴者产生的不同差异可能与佩戴 N95 口罩后形成的死腔面积及死腔内 PCO_2 增高有关[19, 20]。此外，本研究结果显示慢阻肺患者佩戴两种口罩后高碳酸血症的相对危险度无差异，但 PCO_2 的短时间的增高可能会进一步影响肺通气[31]。在 2020 年发布的《新型冠状病毒肺炎疫情期间慢性阻塞性肺疾病医疗和防范须知》中考虑到佩戴 N95 口罩可能会导致二氧化碳潴留甚至呼吸困难[32, 33]，故而推荐慢阻肺患者佩戴一次性医用口罩或外科口罩[34]。因此，建议慢阻肺患者在日常生活中尽可能避免佩戴 N95 口罩。

在本研究中与佩戴外科口罩相比，慢阻肺患者佩戴 N95 口罩后动脉血气中的 PO_2 有显著增高。但慢阻肺患者受试前后 SaO_2 的变化、受试过程中的最低 SpO_2 及低氧血症的发生风险在佩戴外科口罩与佩戴 N95 口罩之间无明显差异。以上数据表明虽然佩戴 N95 口罩与佩戴外科口罩相比会增加 PO_2，但是对 SaO_2 的影响与外科口罩类似。并且既往有研究显示与不佩戴口罩相比，慢阻肺患者佩戴外科口罩后 SpO_2 变化没有差异[30, 35]。这进一步提示佩戴外科口罩对患者的氧饱和度影响小。所以我们不推荐以改善慢阻肺患者的 SpO_2 为目的而选择佩戴 N95 口罩的做法。

本研究发现与佩戴外科口罩相比，慢阻肺患者佩戴 N95 口罩会导致慢阻肺患者出现更多呼吸困难。虽然研究中佩戴两种口罩的头晕发生风险及头痛发生风险无显著差异。但有其他研究发现长时间佩戴 N95 会导致头痛的发生[33]。另外佩戴 N95 口罩还会降低个体对峰值运动强度的感知承受能力[22]。本研究所有受试对象都佩戴两种口罩成功完成了试验，但有研究提示慢阻肺患者的改良英国医学研究委员会呼吸困难量指数（mMRC）>6 或 FEV1%预计值<30%的患者可能会无法耐受佩戴 N95 口罩[29]。由此说明相比于 N95 口罩，外科口罩更适合慢阻肺患者日常佩戴。

既往对慢阻肺患者佩戴口罩的研究中，受试者多在 6 分钟步行试验期间中监测肺通气或其他生理变量的变化[29, 30]。根据我们在实际生活的观察，慢阻肺患者在佩戴口罩时多处于低步速的步行或其他简单运动中；实际佩戴时间较短，并且有时会在空旷的环境中短时间摘下口罩。介于上述原因，本实验旨在监测慢阻肺患者佩戴口罩后在跑步机上以 4Km/h 的匀速步行并持续 20 分钟后的生理变化。此外，由于在口罩外增加任何遮蔽物或其他监测气流速度

的装置均可造成实验结果与单独佩戴一种口罩出现的生理变化不同。为了更准确观察动脉血气及主观感受的变化，试验中未使用盲法对口罩进行遮蔽，也未监测患者肺通气的变化。

本研究具有一定的局限性。本研究来自于单中心且样本量相对较少。同时，本实验仅进行了定时定速步行试验并未对各级慢阻肺患者进行分层分析。在下一步的工作中，本课题组将继续进行大样本量多中心的研究，并对各级慢阻肺患者进行分层分析并联合个体风险因素进行评估，以个体化指导慢阻肺患者选择合适的口罩。

综上所述，与佩戴外科口罩相比，慢阻肺患者佩戴 N95 口罩后更易影响气体交换、发生呼吸困难。我们建议：在 COVID-19 常态防控形势下，慢阻肺患者应尽量佩戴外科口罩。另外以保护慢阻肺患者为目的并充分告知佩戴 N95 口罩时可能出现生理变化的前提下，可以建议慢阻肺患者在呼吸道传染病高危地区及其他必要情况时下小心使用 N95 口罩。

作者贡献：刘健提出研究理念，负责数据收集、论文撰写；张天一负责数据整理、协助编辑与修改、提供统计学设计思路；艾力扎提·艾则孜进行统计计算和可行性分析、数据整理；常蕊静、张建立、王婉负责数据收集；姜鹏进行项目管理、思路指导、提供资源、对文章监督管理和审查。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] 疾病预防控制局. 公众科学戴口罩指引[EB/OL]. (2020-03-18)[2022-07-29]. http://www.nhc.gov.cn/jkj/s3577/202003/0a472cc09e744144883db6a74fe6e760.shtml.

[2] 疾病预防控制局. 关于印发公众科学戴口罩指引（修订版）和夏季空调运行管理与使用指引(修订版)的通知[EB/OL]. (2020-05-21)[2022-07-29]. http://www.nhc.gov.cn/jkj/s5898bm/202005/2d89c552f9804f39bb4f44a9d826b2cd.shtml.

[3] CDC. How to Protect Yourself & Others[EB/OL]. (2022-02-25)[2022-07-29]. https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/prevention.html.

[4] 张冬莹, 姚弥, 王家骥, 等. 农村地区基层医疗卫生机构新型冠状病毒感染防控工作指引（第一版）[J]. 中国全科医学, 2020,23(07): 763-769. DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2020.00.246.
ZHANG D Y, YAO M, WANG J J, et al. Guidance on the Control and Prevention of SARS-CoV-2 Infection in Primary Healthcare Settings in Rural China(First Edition).[J]. Chinese General Practice, 2020, 23(7): 763-769. DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2020.00.246.

[5] 刘健, 吴家林, 刘国才, 等. 慢性阻塞性肺疾病患者佩戴 N95 口罩所致生理学变化的研究进展[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2022,45(06): 598-602. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20220102-00007
Liu J, Wu J L, Liu G C, Jiang P. Research progress on physiological changes caused by wearing N95 mask in patients with chronic obstruction pulmonary disease.[J]. Zhonghua Jie He He Hu Xi Za Zhi, 2022,45(6):598-602. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20220102-00007.

[6] HALPIN D M G, CELLI B R, CRINER G J, et al. The GOLD Summit on chronic obstructive pulmonary disease in low- and middle-income countries.[J]. Int J Tuberc Lung Dis, 2019,23(11): 1131-1141. DOI: 10.5588/ijtld.19.0397.

[7] HEWITT R, FAME H, RITCHIE A, et al. The role of viral infections in exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease and asthma.[J]. Ther Adv Respir Dis, 2016,10(2): 158-74. DOI: 10.1177/1753465815618113.

[8] CDC. People with Certain Medical Conditions[EB/OL]. (2022-05-02)[2022-07-29]. https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/need-extra-precautions/people-with-medical-conditions.html.

[9] CHAN K P F, MA T F, KWOK W C, et al. Significant reduction in hospital admissions for acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease in Hong Kong during coronavirus disease 2019 pandemic.[J]. Respir Med, 2020,171: 106085. DOI: 10.1016/j.rmed.2020.106085.

[10] HUH K, KIM Y E, JIi W, et al. Decrease in hospital admissions for respiratory diseases during the COVID-19 pandemic: a nationwide claims study.[J]. Thorax, 2021,76(9): 939-941. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2020-216526.

[11] Radonovich L J Jr, Simberkoff M S, Bessesen M T, et al. N95 Respirators vs Medical Masks for Preventing Influenza Among Health Care Personnel: A Randomized Clinical Trial.[J]. JAMA, 2019,322(9): 824-833. DOI: 10.1001/jama.2019.11645.

[12] HUMPHREYS H. Control and prevention of healthcare-associated tuberculosis: the role of respiratory isolation and personal respiratory protection.[J]. J Hosp Infect, 2007,66(1): 1-5. DOI: 10.1016/j.jhin.2007.01.007.

[13] OFIR D, LAVENEZIANA P, WEBB K A, et al. Mechanisms of dyspnea during cycle exercise in symptomatic patients with GOLD stage I chronic obstructive pulmonary disease.[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2008,177(6): 622-629. DOI:

10.1164/rccm.200707-1064OC.
[14] ELBEHAIRY A F, CIAVAGLIA C E, WEBB K A, et al. Pulmonary Gas Exchange Abnormalities in Mild Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Implications for Dyspnea and Exercise Intolerance.[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2015,191(12): 1384-1394. DOI: 10.1164/rccm.201501-0157OC.
[15] PARKER C M, VODUC N, AARON S D, et al. Physiological changes during symptom recovery from moderate exacerbations of COPD.[J]. Eur Respir J, 2005,26(3): 420-8. DOI: 10.1183/09031936.05.00136304.
[16] RODRIGUEZ-ROISIN R, DRAKULOVIC M, RODRIGUEZ D A, et al. Ventilation-perfusion imbalance and chronic obstructive pulmonary disease staging severity.[J]. J Appl Physiol, 2009,106(6): 1902-1908. DOI: 10.1152/japplphysiol.00085.2009.
[17] CHIN R C, GUENETTE J A, CHENG S, et al. Does the respiratory system limit exercise in mild chronic obstructive pulmonary disease?[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2013,187(12): 1315-23. DOI: 10.1164/rccm.201211-1970OC.
[18] ARCE S C, CHIODETTI F, DE VITO E L. Dead Space Volume in N95 Masks.[J]. Arch Bronconeumol, 2021,57(6): 434. DOI: 10.1016/j.arbr.2020.11.016.
[19] ROBERGE R J, COCA A, WILLIAMS W J, et al. Physiological impact of the N95 filtering facepiece respirator on healthcare workers.[J]. Respir Care, 2010,55(5): 569-577.
[20] LEE H P, WANG D Y. Objective assessment of increase in breathing resistance of N95 respirators on human subjects.[J]. Ann Occup Hyg, 2011,55(8): 917-921. DOI:10.1093/annhyg/mer065.
[21] KAMPERT M, SINGH T, SAHOO D, et al. Effects of Wearing an N95 Respirator or Cloth Mask Among Adults at Peak Exercise: A Randomized Crossover Trial.[J]. JAMA Netw Open, 2021,4(6): e2115219. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.15219.
[22] SCARANO A, INCHINGOLO F, LORUSSO F. Facial Skin Temperature and Discomfort When Wearing Protective Face Masks: Thermal Infrared Imaging Evaluation and Hands Moving the Mask.[J]. Int J Environ Res Public Health, 2020,17(13): 4624. DOI: 10.3390/ijerph17134624.
[23] HARBER P, SANTIAGO S, WU S, et al. Subjective response to respirator type: effect of disease status and gender.[J]. J Occup Environ Med, 2010,52(2): 150-154. doi:10.1097/JOM.0b013e3181cfcf09.
[24] REBMANN T, CARRICO R, WANG J. Physiologic and other effects and compliance with long-term respirator use among medical intensive care unit nurses.[J]. Am J Infect Control, 2013,41(12): 1218-1223. DOI:10.1016/j.ajic.2013.02.017.
[25] 中华医学会呼吸病学分会慢性阻塞性肺疾病学组, 中国医师协会呼吸医师分会慢性阻塞性肺疾病工作委员会. 慢性阻塞性肺疾病诊治指南(2021 年修订版)[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2021,44(03): 170-205. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20210109-00031.
Chronic Obstructive Pulmonary Disease Group of Chinese Thoracic Society, Chronic Obstructive Pulmonary Disease Committee of Chinese Association of Chest Physician. Guidelines for the diagnosis and management of chronic obstructive pulmonary disease (revised version 2021). Zhonghua Jie He He Hu Xi Za Zhi. 2021,12;44(3): 170-205. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20210109-00031.
[26] EPSTEIN D, KORYTNY A, ISENBERG Y, et al. Return to training in the COVID-19 era: The physiological effects of face masks during exercise.[J]. Scand J Med Sci Sports, 2021,31(1): 70-75. DOI:10.1111/sms.13832.
[27] KIM J H, BENSON S M, ROBERGE R J. Pulmonary and heart rate responses to wearing N95 filtering facepiece respirators.[J]. Am J Infect Control, 2013,41(1): 24-27. DOI:10.1016/j.ajic.2012.02.037.
[28] KYUNG S Y, KIM Y, HWANG H, et al. Risks of N95 Face Mask Use in Subjects With COPD.[J]. Respir Care, 2020,65(5): 658-664. DOI:10.4187/respcare.06713.
[29] SAMANNAN R, HOLT G, CALDERON-CANDELARIO R, et al. Effect of Face Masks on Gas Exchange in Healthy Persons and Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease.[J]. Ann Am Thorac Soc, 2021,18(3): 541-544. DOI:10.1513/AnnalsATS.202007-812RL.
[30] 陈新, 李寅环, 许睿, 等. 呼气末二氧化碳分压水平对慢性阻塞性肺疾病患者中枢驱动和呼吸应答的影响[J]. 中华神经医学杂志, 2008(08): 841-845. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-8925.2008.08.025.
[31] HIRAI K, TANAKA A, SATO H, et al. Effect of surgical mask on exercise capacity in COPD: a randomised crossover trial.[J]. Eur Respir J, 2021,58(4): 2102041. DOI: 10.1183/13993003.02041-2021.
[32] FDA. General N95 Respirator Precautions[DB/OL]. (2022-08-26)[2022-09-29]. https://www.fda.gov/medical-devices/personal-protective-equipment-infection-control/n95-respirators-surgical-masks-face-masks-and-barrier-face-

coverings#s5
[33] ANNE T B. Caution urged on use of N95 respirator masks [DB/OL]. (2018-11-17)[2022-09-29]. https://www.davisenterprise.com/local-news/caution-urged-on-use-of-n95-respirator-masks/
[34] 中华医学会呼吸病学分会慢性阻塞性肺疾病学组，中国医师协会呼吸医师分会慢性阻塞性肺疾病工作委员会. 新型冠状病毒肺炎疫情期间慢性阻塞性肺疾病医疗和防范须知[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2020,43 (05): 421-426. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20200227-00201.
Chronic Obstructive Pulmonary Disease Group of Chinese Thoracic Society, Chronic Obstructive Pulmonary Disease Committee of Chinese Association of Chest Physician. Medical management and prevention instruction of chronic obstructive pulmonary disease during the coronavirus disease 2019 epidemic. Zhonghua Jie He He Hu Xi Za Zhi. 2020,12;43(5): 421-426. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20200227-00201.
[35] LIM E C H, SEET R C S, LEE K-H, et al. Headaches and the N95 face-mask amongst healthcare providers.[J]. Acta Neurol Scand, 2006,113(3): 199-202. DOI:10.1111/j.1600-0404.2005.00560.x.